Acta Colombiana de Cuidado Intensivo xxx (xxxx) 100615

Contents lists available at ScienceDirect

Acta Colombiana de Cuidado Intensivo

journal homepage: www.elsevier.es/acci

Documento de consenso

Recomendaciones de consenso sobre el manejo del trauma encefalocraneal en la altitud (COMATEC-ALTITUD) del Comité de Expertos de Medicina Intensiva en la altitud de la Federación Panamericana e Ibérica de Medicina Crítica y Terapia Intensiva

Consensus recommendations for the management of traumatic brain injury at altitude (COMATEC-ALTITUDE) from the Expert Committee on Altitude Intensive Care of the Pan-American and Iberian Federation of Critical Care and Intensive Therapy

Adrian Avila-Hilari[a,b], Jesús Abelardo Barea Mendoza[c], Manuel Luis Avellanas-Chavala[d], Jorge Vélez-Páez[e], Víctor Hugo Nieto Estrada[f,*], Felipe de Jesús Montelongo[g], Amilcar Tinoco-Solórzano[h], Michael H. Eduardo Kessler[a,b], Fausto Maldonado Coronel[i], Daniel Molano Franco[j], Roger Huanca Payehuanca[k] y Jorge Rosendo Sánchez Medina[l]

[a] *Unidad de Terapia Intensiva, Hospital Municipal Boliviano Holandés, El Alto, Bolivia*
[b] *Clínica CIES Critical Care Altitude, La Paz, Bolivia*
[c] *Unidad de Cuidados Intensivos de Trauma y Emergencias, Servicio de Medicina Intensiva, Hospital Universitario 12 de Octubre, Madrid, España*
[d] *Médico especialista en Medicina Intensiva, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Universidad de Zaragoza, Huesca, España*
[e] *Unidad de Terapia Intensiva, Hospital Pablo Arturo Suárez, Centro de Investigación Clínica, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador*
[f] *Unidad de Cuidados Intensivos, Fundación Centro de Tratamiento e Investigación sobre Cáncer Luis Carlos Sarmiento Angulo, Bogotá, Colombia*
[g] *Áreas Críticas, Hospital General Las Américas, Instituto de Salud del Estado de México, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de México, Ecatepec de Morelos, México*
[h] *Facultad de Medicina Humana, Universidad de San Martin de Porres, Centro de Investigación de Medicina de Altitud, Huancayo, Perú*
[i] *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Salud Pública, Riobamba, Ecuador*
[j] *Unidad de Cuidado Intensivo, Hospital San José, Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud, Facultad de Medicina, Bogotá, Colombia*
[k] *Servicio de Cuidados Intensivos e Intermedios, Hospital III Puno, Seguro Social de Salud del Perú, Puno, Perú*
[l] *Presidente de la Federación Panamericana e Ibérica de Medicina Crítica y Terapia Intensiva (FEPIMCTI), Servicio de Terapia Intensiva, Hospital Regional de Pemex, Ciudad Madero, México*

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Palabras clave:
Traumatismo encefalocraneal
Altitud
Hipoxia hipobárica
Presión intracraneal
Cuidados neurocríticos

RESUMEN

Introducción: El manejo del traumatismo encefalocraneal grave está bien establecido a nivel del mar; sin embargo, su abordaje en la altitud presenta desafíos adicionales relacionados con la hipoxia hipobárica y la limitación de recursos, particularmente en la neuromonitorización. La evidencia específica en este contexto es limitada y heterogénea.
Objetivo: Desarrollar recomendaciones clínicas para el diagnóstico, la monitorización y el tratamiento del traumatismo encefalocraneal en la altitud, adaptadas a la fisiopatología y a entornos con recursos limitados.
Métodos: Se realizó un consenso de expertos utilizando metodología Delphi modificada. Se llevó a cabo una revisión sistemática no estructurada de la literatura en bases de datos biomédicas (PubMed, Embase, Scielo, Cochrane, entre otras) y literatura gris, identificando 125 referencias relevantes. Un panel multidisciplinario de 12 expertos internacionales evaluó 36 recomendaciones mediante una escala Likert (1-9). Se definió consenso como ≥ 80% de puntuaciones ≥ 7. Las recomendaciones se clasificaron según la fuerza y calidad de la evidencia utilizando un sistema previamente validado en consensos de medicina intensiva, dada la limitadaevidencia disponible específica para altitud.

* Autor para correspondencia.
Correo electrónico: victor.nietoestrada@gmail.com (V.H. Nieto Estrada).

https://doi.org/10.1016/j.acci.2026.100615

Disponible en Internet el xxx
0122-7262/© 2026 Asociación Colombiana de Medicina Crítica y Cuidado lntensivo. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Se reservan todos los derechos, incluidos los de minería de texto y datos, entrenamiento de IA y tecnologías similares.

Cómo citar este artículo: A. Avila-Hilari, J.A. Barea Mendoza, M.L. Avellanas-Chavala et al., Recomendaciones de consenso sobre el manejo del trauma encefalocraneal en la altitud (COMATEC-ALTITUD) del Comité de Expertos de Medicina Intensiva en la altitud de la Federación Panamericana e Ibérica de Medicina Crítica y Terapia Intensiva, Acta Colombiana de Cuidado Intensivo, https://doi.org/10.1016/j.acci.2026.100615

SHOUT
SHARE
IT

Resultados: Se generaron 36 recomendaciones agrupadas en 10 dominios clínicos. Tras 2 rondas Delphi, todas alcanzaron consenso (≥ 80%). Veinte recomendaciones incluyeron evidencia específica en altitud, mientras que el resto fueron adaptaciones de guías desarrolladas a nivel del mar. Las áreas clave incluyeron reanimación hemodinámica, estrategias de oxigenación y ventilación ajustadas a la altitud, uso de terapias osmóticas, y monitorización neurológica multimodal, con énfasis en métodos no invasivos cuando la monitorización invasiva no está disponible.
Conclusiones: Este consenso proporciona un marco clínico estructurado para el manejo del traumatismo encefalocraneal en la altitud, integrando la mejor evidencia disponible y la experiencia de expertos. Representa una herramienta práctica para entornos de altitud, especialmente en contextos con limitación de recursos, y destaca la necesidad de investigación futura para fortalecer la evidencia en este campo.

ABSTRACT

Keywords:
Traumatic brain injury
Altitude
Hypobaric hypoxia
Intracranial pressure
Neurocritical care

Introduction: The management of severe traumatic brain injury is well established at sea level; however, its application at high altitude poses additional challenges due to hypobaric hypoxia and limited healthcare resources, particularly in neuromonitoring. Evidence in this setting remains scarce and heterogeneous.
Objective: To develop clinical recommendations for the diagnosis, monitoring, and management of traumatic brain injury at altitude, adapted to altitude-related physiology and resource-limited settings.
Methods: A modified Delphi consensus was conducted. A non-systematic literature review was performed across major biomedical databases (PubMed, Embase, Scielo, Cochrane Library, among others) and grey literature, identifying 125 relevant references. A multidisciplinary panel of 12 international experts evaluated 36 recommendations using a 9-point Likert scale. Consensus was defined as ≥ 80% agreement (scores ≥ 7). Recommendations were graded based on strength and quality of evidence using a previously validated system for critical care consensus, given the limited altitude-specific evidence.
Results: A total of 36 recommendations across 10 clinical domains were developed. After 2 Delphi rounds, all recommendations achieved consensus (≥ 80%). Twenty recommendations were supported by altitude-specific evidence, while the remainder were adapted from sea-level guidelines. Key domains included hemodynamic resuscitation, altitude-adjusted oxygenation and ventilation strategies, osmotic therapy, and multimodal neurological monitoring, with emphasis on non-invasive techniques when invasive monitoring is unavailable.
Conclusions: This consensus provides a structured clinical framework for managing traumatic brain injury at altitude, integrating the best available evidence and expert opinion. It serves as a practical tool for high-altitude settings, particularly in resource-limited environments, and highlights the need for further research in this field.

Introducción

El traumatismo encefalocraneal (TEC) constituye la principal causa de mortalidad en adultos jóvenes y, en todos los grupos etarios, una de las principales causas de morbimortalidad a nivel mundial[1]. Su incidencia y desenlaces varían significativamente entre regiones, siendo particularmente elevada la carga de enfermedad en países de ingresos bajos y medios de América Latina, donde las tasas de mortalidad continúan siendo altas[2]. Aunque la fisiopatología del TEC es globalmente comparable entre regiones, existen diferencias relevantes en la demografía, los mecanismos de lesión y, especialmente, en la disponibilidad de recursos diagnósticos y terapéuticos[3], como la monitorización invasiva de la presión intracraneal (PIC-I), que pueden impactar de forma significativa en el pronóstico[4].

En este contexto, la altitud representa un factor adicional que condiciona tanto la fisiopatología como el manejo del TEC. Se define como TEC en la altitud (TEC-A) aquel que ocurre por encima de los 1.500 msnm según el consenso de la Federación Panamericana e Ibérica de Medicina Crítica y Terapia Intensiva (FEPIMCTI)[5]. En estas condiciones, la hipoxia hipobárica induce una serie de adaptaciones fisiológicas que afectan múltiples sistemas orgánicos, particularmente el sistema nervioso central, y que pueden exacerbar la lesión cerebral secundaria[6–12] (tabla 1). Entre estos cambios se incluyen alteraciones en la oxigenación tisular, el flujo sanguíneo cerebral, la ventilación y el equilibrio ácido-base, así como modificaciones en la farmacocinética y farmacodinamia de los fármacos utilizados en el manejo del paciente neurocrítico[10].

Adicionalmente, una proporción significativa de la población latinoamericana reside en zonas de altitud[13]. En estos entornos, las limitaciones estructurales y tecnológicas, particularmente en unidades de cuidados intensivos, condicionan el acceso a herramientas avanzadas de monitorización neurológica, lo que obliga a adaptar las estrategias diagnósticas y terapéuticas a contextos con recursos limitados.

A pesar de la existencia de guías internacionales bien establecidas para el manejo del TEC a nivel del mar, existe una ausencia de recomendaciones específicas que integren las particularidades fisiopatológicas de la altitud y las limitaciones de recursos características de estos entornos. Esta brecha de conocimiento dificulta la estandarización del manejo clínico del TEC-A y puede generar variabilidad en la práctica médica[13–16].

Recientemente, el Comité de Expertos en Medicina Crítica en la Altitud de la FEPIMCTI publicó un consenso sobre definiciones y recomendaciones generales en medicina crítica en la altitud[5]. Sin embargo, dada la limitada evidencia específica sobre el manejo del TEC-A, la alta prevalencia de esta condición en regiones de altitud y la necesidad de adaptar las recomendaciones existentes a estos escenarios, se consideró pertinente desarrollar un consenso específico enfocado en esta entidad.

El objetivo de este consenso es desarrollar recomendaciones clínicas para el diagnóstico, la monitorización y el tratamiento del TEC-A, integrando la mejor evidencia disponible y la experiencia de expertos, con el fin de mejorar la toma de decisiones clínicas y optimizar los desenlaces en pacientes atendidos en entornos de altitud, especialmente en contextos con limitación de recursos.

Material y métodos

Se desarrolló un consenso de expertos mediante metodología Delphi modificada, con el objetivo de formular recomendaciones clínicas para el manejo del TEC-A. El proceso siguió estándares internacionales para estudios de consenso biomédico, garantizando transparencia y rigor metodológico[17], y contó con el aval de la Junta Directiva de la FEPIMCTI.

El grupo coordinador estuvo conformado por 3 médicos intensivistas con experiencia en medicina crítica en la altitud y pacientes neurocríticos, responsables del diseño metodológico, la revisión de la literatura,

Tabla 1
Características fisiopatológicas y clínicas del traumatismo encefalocraneal en la altitud

Dominio	Característica/alteración	Implicación clínica en TEC-A
Oxigenación	Disminución de la PaO_2 y SaO_2 por condiciones hipobáricas	Mayor riesgo de hipoxia tisular y agravamiento de lesión cerebral secundaria
Ventilación	Presencia de hipocapnia ($PaCO_2$ promedio ~30 mmHg en altitud)	Alteraciones en la perfusión cerebral y riesgo de vasoconstricción cerebral
Gases arteriales	Hipoxia excesiva, hiperoxia, hipercapnia e hipocapnia severa	Asociadas a peores desenlaces clínicos en TEC
Farmacología	Alteración de la farmacocinética (absorción, distribución, metabolismo y excreción)	Variabilidad en respuesta a sedantes, analgésicos y otros fármacos
Neuroinflamación	La hipoxia hipobárica agrava la respuesta inflamatoria cerebral	Mayor daño neuronal y progresión de la lesión secundaria
Hematológico y sistémico	Eritrocitosis, aumento de hemoglobina, estado de hipercoagulabilidad	Mayor riesgo trombótico y cambios en la entrega de oxígeno
Fisiología multiorgánica	Adaptaciones en cerebro, corazón, pulmón, hígado y riñón	Modificación de la respuesta al trauma y a las intervenciones terapéuticas

$PaCO_2$: presión parcial de dióxido de carbono; PaO_2: presión arterial de oxígeno; SaO_2: saturación arterial de oxígeno; TEC: traumatismo encefalocraneal; TEC-A: traumatismo encefalocraneal en la altitud.
Elaboración propia de los autores.

la identificación de áreas de interés y la elaboración de las recomendaciones iniciales. Se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos (PubMed, Embase, Scielo, Bireme, Latindex, Cochrane Library y Google Scholar), complementada con literatura gris (medRxiv), identificando 305 artículos, de los cuales se seleccionaron 80 relevantes tras depuración por duplicados y pertinencia. Se incorporó bibliografía adicional, incluyendo guías y consensos, alcanzando un total de 125 referencias (fig. 1).

A partir de esta revisión se definieron 10 áreas de interés y 36 puntos de debate, que fueron transformados en 36 recomendaciones clínicas preliminares. El panel estuvo integrado por 12 expertos internacionales de 6 países (Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, México y España), todos con más de 15 años de experiencia y pertenecientes al Comité de Expertos de Medicina Crítica en la Altitud de la FEPIMCTI. Todos declararon conflictos de interés antes de su participación.

El proceso Delphi se realizó en 2 rondas, mediante votación anónima utilizando una escala Likert de 9 puntos. Se definió consenso como ≥ 80% de puntuaciones ≥ 7. La primera ronda se llevó a cabo en noviembre de 2025 y la segunda en diciembre de 2025, tras la reformulación de las recomendaciones que no alcanzaron consenso inicial. Todas las recomendaciones alcanzaron consenso en la segunda ronda, con una participación del 100% de los panelistas en ambas fases.

Dada la limitada evidencia específica en altitud, las recomendaciones se graduaron utilizando un sistema previamente empleado en consensos de medicina intensiva[18,19] (tabla 2), basado en la fuerza de la recomendación (A-D) y la calidad de la evidencia (I-III). La fuerza de la recomendación se clasificó en 4 niveles: A (fuerte a favor de la intervención), B (moderada a favor), C (débil a favor) y D (en contra de la intervención). Por su parte, la calidad de la evidencia se categorizó en 3 niveles: I (evidencia procedente de ensayos clínicos controlados aleatorizados), II (evidencia derivada de estudios observacionales bien diseñados o resultados consistentes de estudios no controlados) y III (evidencia basada en la opinión de expertos, estudios descriptivos o experiencia clínica). Finalmente, el documento fue redactado por el grupo coordinador, revisado por los panelistas y aprobado en su versión final en enero de 2026.

Tabla 2
Sistema de clasificación de la fuerza de la recomendación y calidad de la evidencia

Fuerza de la recomendación	Definición
A	Apoya firmemente una recomendación de uso
B	Apoya moderadamente una recomendación de uso
C	Apoya ligeramente una recomendación de uso
D	Apoya una recomendación contra el uso
Calidad de las pruebas	**Definición**
I	Procedente de al menos un ensayo clínico controlado aleatorizado y bien definido
II	Procedente de al menos un estudio no aleatorizado bien diseñado (casos-controles o cohortes), de múltiples series temporales o de resultados muy evidentes de estudios no controlados
III	Procedente de opiniones de expertos de prestigio reconocido basadas en experiencia clínica o estudios descriptivos

Tomada y ajustada de Argudo et al.[19].

Justificación

El manejo del TEC grave está bien establecido en guías internacionales desarrolladas para el nivel del mar[20–25]; sin embargo, la hipoxia hipobárica propia de la altitud, cuya magnitud varía según el nivel de exposición[5], constituye un factor fisiopatológico relevante que puede agravar la lesión cerebral secundaria y modificar la respuesta al tratamiento. En este contexto, la neuromonitorización es fundamental para el diagnóstico y la toma de decisiones, aunque la PIC-I no está ampliamente disponible, lo que obliga a integrar métodos no invasivos (nPIC) con la evaluación clínica y la neuroimagen.

Adicionalmente, una proporción importante de la población de América Latina vive en zonas de altitud, con más de 115 millones de personas a nivel global y más de 20 millones por encima de los 2.500 msnm en países como Bolivia, Perú, México, Colombia y Ecuador[13,26], lo que incrementa la relevancia de esta problemática. La hipoxia hipobárica induce múltiples cambios fisiológicos sistémicos respiratorios[5–9], cardiovasculares, hepáticos, renales[10–12,26], hematológicos[27–30] y neurológicos[15,16] que pueden influir en la evolución del TEC y en la respuesta terapéutica.

En estos entornos, la limitación de recursos, especialmente en neuromonitorización avanzada, ha impulsado estrategias alternativas como el protocolo Consensus REVised ICE –CREVICE–, basado en la integración clínica e imagenológica, con impacto en la reducción de la morbimortalidad[31,32]. Existen además consensos que respaldan el uso de métodos nPIC[20,33–35], aunque requieren adaptación a la fisiología

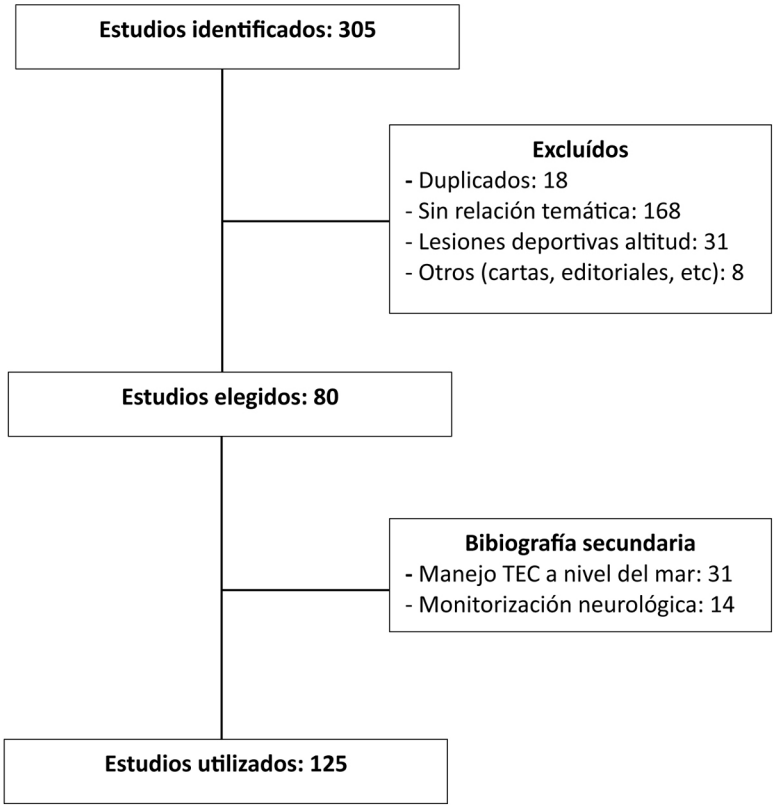

Figura 1. Diagrama de flujo. Proceso de selección de estudios para el consenso sobre el manejo del trauma encefalocraneal en la altitud.

de la altitud[15–36]. Si bien algunas recomendaciones del nivel del mar son aplicables sin modificaciones[23,37,38], la ausencia de guías específicas que integren las particularidades fisiopatológicas y las limitaciones de recursos en la altitud justifica el desarrollo de este consenso.

Resultados

En la revisión bibliográfica se identificaron 10 áreas de interés (secciones), que dieron lugar a un total de 36 puntos de debate, a partir de los cuales se formularon 36 recomendaciones. Una vez elaboradas, estas fueron sometidas al proceso Delphi. En la primera ronda, la puntuación media global fue de 8,44 ± 0,43. De las 36 recomendaciones, 7 obtuvieron una puntuación superior a 7 pero inferior a 8, por lo que fueron revisadas y sometidas a una segunda ronda. Tras esta segunda ronda, la puntuación media aumentó a 8,54 ± 0,32, alcanzándose consenso en la totalidad de las recomendaciones. La participación de los panelistas fue del 100% en ambas rondas.

En la revisión de la literatura se identificaron 6 revisiones sistemáticas y/o metaanálisis que sustentaron 5 recomendaciones, de las cuales solo una estaba directamente relacionada con la altitud, además de 2 revisiones de alcance específicas en este contexto. En total, 20 de las 36 recomendaciones cuentan con soporte bibliográfico relacionado con la altitud, mientras que el resto corresponden a recomendaciones extrapoladas del nivel del mar o adaptadas a las condiciones fisiopatológicas de la altitud. La justificación detallada de cada recomendación se presenta en el material suplementario. El diagrama de flujo del proceso de selección de los estudios se muestra en la figura 1.

Secciones y recomendaciones

Sección I: Generalidades

Recomendación 1: Se recomienda que el manejo del TEC-A se realice de forma diferenciada respecto al manejo a nivel del mar, considerando las particularidades fisiopatológicas asociadas a la hipoxia hipobárica. (A-III)

Recomendación 2: Se recomienda clasificar la altitud en pacientes con TEC-A utilizando la escala propuesta en el consenso de definiciones y recomendaciones de medicina crítica en la altitud del Comité de Expertos de la FEPIMCTI. (A-III)

Sección II: Control de la temperatura corporal

Recomendación 3: Se recomienda monitorizar y mantener la temperatura corporal central entre 36 y 37 °C en pacientes con TEC-A, evitando tanto la hipotermia (< 35 °C) como la hipertermia (> 38 °C), debido a su impacto negativo en el pronóstico neurológico. (A-II)

Sección III: Clasificación de la gravedad y evaluación primaria

Recomendación 4: Se recomienda clasificar la gravedad del TEC en pacientes con TEC-A utilizando la Escala de Coma de Glasgow (ECG), sin modificaciones respecto al nivel del mar: leve[13–15], moderado[9–12] y grave[3–8]. (A-I)

Recomendación 5: Se recomienda realizar en todo paciente con TEC-A una evaluación primaria estructurada siguiendo el enfoque ABCDE (vía aérea con control cervical, respiración, circulación y control de hemorragias, déficit neurológico y exposición), adaptándola a las condiciones ambientales de la altitud, incluyendo hipoxia y frío, y limitando la exposición al mínimo necesario. (A-III)

Sección IV: Tratamiento médico

Recomendación 6: Se recomienda mantener durante la reanimación inicial una presión arterial media ≥ 80 mmHg o una presión arterial sistólica ≥ 100-110 mmHg, con el objetivo de optimizar la perfusión cerebral. (A-III)

Recomendación 7: Se recomienda realizar reanimación hemodinámica orientada a mantener la normovolemia, mediante la administración de fluidos intravenosos, sangre y hemoderivados según requerimiento clínico. (A-III)

Recomendación 8: Se recomienda utilizar solución salina al 0,9% como fluido de elección para la reanimación en pacientes con TEC-A. (A-II)

Recomendación 9: Se recomienda utilizar la ecografía point-of-care como herramienta para guiar la reanimación hemodinámica y optimizar el estado de volemia. (A-III)

Recomendación 10: Se recomienda evitar el uso de soluciones balanceadas tipo Ringer lactato en pacientes con edema cerebral o en riesgo de desarrollarlo. (D-III)

Recomendación 11: Se recomienda monitorizar y controlar los niveles de glucosa, manteniéndolos entre 110 y 180 mg/dL, así como los niveles de sodio, evitando tanto la hiponatremia (< 135 mEq/L) como la hipernatremia (> 155 mEq/L), con un objetivo ideal entre 140 y 150 mEq/L. (A-II)

Sección V: Hematología y coagulación

Recomendación 12: Se recomienda considerar una estrategia transfusional individualizada en pacientes con TEC-A, orientada a mantener una hemoglobina mínima de 10 g/dL en media altitud, 11 g/dL en altitud elevada y 12 g/dL en gran altitud, priorizando la evaluación riesgo-beneficio y la adecuada entrega de oxígeno tisular, especialmente en entornos con ausencia de neuromonitorización avanzada. (B-III)

Recomendación 13: Se recomienda realizar tromboprofilaxis en pacientes con TEC-A, siempre que no esté contraindicada, considerando el mayor riesgo trombótico asociado a la altitud, especialmente en pacientes procedentes de tierras bajas expuestos a gran altitud, en aquellos con eritrocitosis o en mayores de 60 años. (A-II)

Recomendación 14: Se recomienda evaluar y manejar de forma individualizada a los pacientes con TEC-A que reciben tratamiento anticoagulante o antiagregante plaquetario, considerando la reversión de estos tratamientos cuando esté indicada, con el objetivo de disminuir el riesgo de progresión de la hemorragia intracraneal, sin incrementar de forma significativa el riesgo trombótico. (A-II)

Sección VI: Terapia osmótica

Recomendación 15: Se recomienda utilizar terapia osmótica con suero salino hipertónico o manitol en pacientes con TEC-A y presión intracraneal (PIC) elevada persistente, con el objetivo de reducir la PIC y mejorar la perfusión cerebral. (A-III)

Sección VII: Analgésicos, anestésicos y sedantes

Recomendación 16: Se recomienda evaluar el estado neurológico mediante la ECG y el examen pupilar antes de iniciar sedación, analgesia o bloqueo neuromuscular en pacientes con TEC-A. (A-III)

Recomendación 17: Se recomienda considerar las alteraciones en la farmacocinética y farmacodinamia de los analgésicos, anestésicos y sedantes utilizados en la altitud al momento de su administración en pacientes con TEC-A. (A-III)

Recomendación 18: Se recomienda, considerando el impacto potencial de la altitud en la farmacocinética y farmacodinamia de los fármacos, ajustar la dosificación de la sedación de forma individualizada, guiada por monitorización continua y la respuesta clínica, manteniendo la dosis mínima efectiva necesaria para alcanzar los objetivos de sedación. (A-III)

Recomendación 19: Se recomienda utilizar analgésicos y sedantes de acción corta, en la dosis mínima necesaria para lograr un adecuado control del dolor y un nivel de sedación acorde con los objetivos clínicos. (A-III)

Recomendación 20: Se recomienda considerar el uso de ketamina para la inducción anestésica y procedimientos cortos en pacientes con TEC-A, debido a su perfil de seguridad en altitud, incluyendo menor depresión respiratoria y preservación de los reflejos de la vía aérea; puede emplearse en combinación con propofol o midazolam según el contexto clínico. (A-III)

Recomendación 21: Se recomienda utilizar el índice biespectral u otros métodos de monitorización basados en electroencefalografía procesada, cuando estén disponibles, para optimizar la profundidad de la sedación y evitar la sobresedación. (A-III)

Recomendación 22: Se recomienda, en ausencia de monitorización avanzada como el índice biespectral, realizar reevaluación clínica periódica de la sedación y utilizar escalas validadas como la Escala de Agitación y Sedación de Richmond o la escala de Ramsay. (A-III)

Sección VIII: Oxigenación y ventilación

Recomendación 23: Se recomienda iniciar y ajustar la oxigenoterapia en pacientes con TEC-A de acuerdo con los criterios establecidos en el consenso de medicina crítica en la altitud de la FEPIMCTI, con el objetivo de evitar tanto la hipoxia como la hiperoxia, ambas asociadas a desenlaces adversos. (A-III)

Recomendación 24: Se recomienda considerar como vía aérea potencialmente difícil cualquier intubación en pacientes con TEC-A, debido al riesgo aumentado de hipoxemia y a las condiciones fisiológicas de la altitud, extremando las medidas de preparación y seguridad. (A-III)

Recomendación 25: Se recomienda evitar tanto la hipercapnia como la hipocapnia severa en pacientes con TEC-A, ajustando la ventilación para mantener valores de $PaCO_2$ según el nivel de altitud y el contexto clínico (aproximadamente 26-30 mmHg), evitando la hiperventilación prolongada y desaconsejando su uso profiláctico; su empleo debe limitarse a situaciones de hipertensión intracraneal refractaria. (A-III)

Sección IX: Monitorización neurológica

Recomendación 26: Se recomienda realizar PIC-I en pacientes con TEC-A grave, siempre que esté disponible. (A-III)

Recomendación 27: Se recomienda realizar tomografía computarizada craneal en pacientes con TEC-A cuando esté indicada, siendo fundamental para la evaluación inicial y el seguimiento evolutivo, especialmente en pacientes con indicación de monitorización de la PIC. (A-III)

Recomendación 28: Se recomienda, cuando la PIC-I no esté disponible, utilizar al menos 2 métodos diferentes de nPIC para estimar la PIC, integrando estos hallazgos con la evaluación clínica y la neuroimagen, cuando estén disponibles. Entre los métodos recomendados se incluyen el pupilómetro automático, el Doppler transcraneal (dúplex o tríplex) y la medición del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO), esta última únicamente con imágenes de alta calidad. La monitorización del bulbo yugular puede considerarse como una herramienta complementaria mínimamente invasiva. (A-III)

Recomendación 29: Se recomienda considerar las limitaciones específicas de cada técnica nPIC al momento de su utilización, evitando su empleo en situaciones en las que puedan ser poco fiables o estén contraindicadas. (A-III)

Recomendación 30: Se recomienda conocer e interpretar los valores de referencia de las herramientas de monitorización no invasiva: DVNO y Doppler transcraneal (dúplex o tríplex) en función del nivel de altitud, debido a las variaciones fisiológicas asociadas (tabla 3). La interpretación de estos parámetros debe considerar la altitud, el contexto clínico y las características del paciente nativo o no nativo. (A-III)

Recomendación 31: Se recomienda realizar mediciones seriadas mediante técnicas de monitorización no invasiva para evaluar la evolución de la PIC, considerando tanto los valores basales como sus cambios dinámicos para guiar las intervenciones clínicas. (A-III)

Recomendación 32: Se recomienda realizar mediciones sistemáticas y estandarizadas del DVNO, siguiendo las recomendaciones de consensos internacionales para la adquisición de imágenes y su medición, con el fin de mejorar la reproducibilidad y la concordancia entre operadores. (A-III)

Recomendación 33: Se recomienda estandarizar la medición del DVNO, realizando la medición entre las capas internas de la vaina o, en su defecto, manteniendo siempre el mismo punto de medición para evaluar cambios evolutivos. (A-III)

Recomendación 34: Se recomienda, para la evaluación de los cambios en la PIC mediante nPIC, realizar estimaciones seriadas e integrarlas con

Tabla 3
Valores de referencia y comportamiento de herramientas de monitorización no invasiva según el nivel de altitud

Parámetro	Nivel del mar	Altitud (nativos)	Altitud (no nativos)
DVNO	≤ 4,5 mm (< 1 año)/≤ 5,0 mm (> 1 año)	Límite superior de la normalidad o discretamente elevado	Incremento progresivo (~0,14 mm por cada 1.000 msnm), mayor en mal agudo de montaña
Doppler transcraneal (DTCC/EDCTC)	Valores estándar de velocidad de flujo cerebral	Valores aumentados respecto al nivel del mar	Incremento asociado a hipoxia y respuesta hemodinámica cerebral

DTCC: Doppler transcraneal codificado en color; DVNO: diámetro de la vaina del nervio óptico; EDCTC: eco-Doppler color transcraneal.
Elaboración propia de los autores con base en la literatura disponible.

la evaluación clínica mediante la ECG. En pacientes con TEC-A grave (ECG < 9), se aconseja realizar estimaciones al menos cada 2-4 h, mientras que en pacientes con TEC-A moderado (ECG 9-12), al menos cada 4-6 h. (A-III)

Recomendación 35: Se recomienda, en pacientes con TEC-A grave sin disponibilidad de PIC-I, aplicar criterios de sospecha de hipertensión intracraneal basados en protocolos como CREVICE, integrando herramientas de monitorización no invasiva en la toma de decisiones clínicas. (A-III)

Sección X: Protocolos adaptables al TEC-A

Recomendación 36: Se recomienda adaptar a las condiciones de la altitud el uso de protocolos clínicos para el manejo del TEC, especialmente en escenarios donde la PIC-I no esté disponible, sea inconsistente o existan limitaciones de recursos. La aplicación rigurosa de protocolos estructurados, como CREVICE o el Neuro-Intensive Care Protocol for TBI, puede contribuir a mejorar la toma de decisiones clínicas y a reducir la morbimortalidad. (A-III)

Discusión

El manejo temprano y eficaz del TEC-A es fundamental para prevenir daño secundario y mejorar los desenlaces clínicos[24]. En este consenso, 6 revisiones sistemáticas y/o metaanálisis sustentan recomendaciones clave relacionadas con el tipo de fluido de reanimación[38], el control glucémico[39], el riesgo trombótico[40] y la neuromonitorización[33–35], siendo esta última una de las áreas con mayor desarrollo. No obstante, solo una de estas recomendaciones se relaciona directamente con la altitud. Adicionalmente, se incluyeron revisiones de alcance específicas en altitud que respaldan aspectos como la reanimación, la oxigenación y la ventilación[41,42]. En conjunto, 20 de las 36 recomendaciones cuentan con soporte bibliográfico en altitud, mientras que el resto corresponden a extrapolaciones del nivel del mar o adaptaciones fisiopatológicas, especialmente en neuromonitorización.

La limitada disponibilidad de recursos condiciona la aplicabilidad de muchas recomendaciones, particularmente en escenarios donde la monitorización invasiva no está disponible. A ello se suma la hipoxia hipobárica, que impacta la fisiología sistémica, el metabolismo de fármacos, el flujo sanguíneo cerebral y las estrategias ventilatorias[5,26]. En este contexto, el consenso integra la mejor evidencia disponible con la experiencia clínica, considerando que gran parte de la literatura procede de entornos no directamente comparables con la práctica clínica habitual[7,43–45] y que la evidencia en población residente en altitud sigue siendo limitada[12,46].

Algunas recomendaciones se sustentan principalmente en el razonamiento clínico ante la escasez de evidencia específica. En sedación, la información disponible sobre farmacocinética y farmacodinamia en altitud deriva de modelos experimentales y reportes clínicos[10,47–51]. De forma similar, las estrategias transfusionales se basan en la adaptación fisiológica a la altitud y en estudios observacionales sobre hematocrito[52–60]. Estas limitaciones reflejan la necesidad de individualizar las intervenciones en este contexto.

Existen áreas en evolución que podrían modificar futuras recomendaciones. La ECG continúa siendo el estándar para la clasificación de la gravedad del TEC[37], sin evidencia suficiente para su reemplazo por otras escalas como FOUR[61,62]. En reanimación, la solución salina al 0,9% sigue siendo el fluido de elección[38], aunque el papel del lactato como sustrato metabólico cerebral plantea nuevas líneas de investigación[63,64]. En el manejo de la vía aérea, la videolaringoscopia ha demostrado mayor seguridad en escenarios difíciles[65–68], lo que podría ser particularmente relevante en altitud.

En neuromonitorización, la evidencia es dinámica. Aunque la pupilometría automatizada fue considerada inicialmente como estándar, estudios recientes han cuestionado su capacidad para sustituir la monitorización invasiva[69-72]. Intervenciones clásicas como la elevación de la cabeza continúan mostrando beneficios en el control de la PIC[73,74], mientras que nuevas tecnologías no invasivas basadas en el análisis de la morfología de la onda intracraneal podrían ampliar las opciones de monitorización en altitud[75,76].

La principal limitación del consenso es la escasez de evidencia específica en TEC-A, lo que condiciona un predominio de recomendaciones con bajo nivel de evidencia[19]. Sin embargo, este consenso constituye un marco inicial de referencia que promueve la estandarización del manejo y orienta futuras investigaciones. Además, contribuye a integrar el uso complementario de la monitorización invasiva y no invasiva, superando debates previos sobre su utilidad relativa[77,78].

En conclusión, este es el primer consenso orientado al manejo del TEC-A. Aunque la evidencia específica es limitada, las recomendaciones proporcionan un enfoque estructurado y adaptable al contexto de la altitud. La integración de herramientas de monitorización no invasiva, especialmente en entornos con limitación de recursos, permite una evaluación multimodal a pie de cama que apoya la toma de decisiones clínicas. La aplicación de este consenso puede contribuir a mejorar los desenlaces en pacientes con TEC-A y establece las bases para el desarrollo de investigaciones futuras en este campo.

Autoría

Todos los autores participaron activamente en la preparación, redacción y revisión crítica del manuscrito, así como en la aprobación de la versión final para su publicación.

Consentimiento informado

Todos los expertos participantes del consenso firmaron consentimiento informado.

Financiación

El proyecto fue financiado con recursos propios de los autores. No hay ninguna fuente de financiación externa.

Declaración sobre el uso de la IA generativa y de las tecnologías asistidas por la IA en el proceso de redacción

Se emplearon herramientas de inteligencia artificial generativa únicamente para apoyar ajustes de estilo y claridad en la redacción del manuscrito. El contenido científico, así como las conclusiones presentadas, fueron íntegramente revisados, validados y aprobados por todos los autores, quienes asumen plena responsabilidad por la versión final del documento.

Conflicto de intereses

Todos los autores del artículo dejaron constancia de la ausencia de cualquier actividad o vínculo que pudiera interpretarse como conflicto de intereses, ya sean financieros, intelectuales o personales, que lograran afectar el juicio profesional y académico o desencadenen un interés secundario.

Anexo. Material adicional

Se puede consultar material adicional a este artículo en su versión electrónica disponible en https://doi.org/10.1016/j.acci.2026.100615.

Bibliografía

1. Garvin R, Mangat HS. Emergency neurological life support: severe traumatic brain injury. *Neurocrit Care*. 2017;27(Suppl 1):159–169, http://dx.doi.org/10.1007/s12028-017-0461-0.
2. Bonow RH, Barber J, Temkin NR, et al., Global Neurotrauma Research Group. The outcome of severe traumatic brain injury in Latin America. *World Neurosurg*. 2018;111:e82–e90, http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2017.11.171.
3. Maas AIR, Menon DK, Manley GT, et al., InTBIR Participants and Investigators. Traumatic brain injury: progress and challenges in prevention, clinical care, and research. *Lancet Neurol*. 2022;21:1004–1060, http://dx.doi.org/10.1016/S1474-4422(22)00309-X. Erratum in: Lancet Neurol. 2022;21:e10. doi: 10.1016/S1474-4422(22)00411-2.
4. Hofman K, Primack A, Keusch G, Hrynkow S. Addressing the growing burden of trauma and injury in low- and middle-income countries. *Am J Public Health*. 2005;95:13–17, http://dx.doi.org/10.2105/AJPH.2004.039354.
5. Tinoco-Solórzano A, Avila-Hilari A, Avellanas-Chavala ML, et al. Definiciones y recomendaciones de consenso sobre la medicina crítica en la altitud del Comité de Expertos de Medicina Crítica en la altitud de la Federación Panamericana e Ibérica de Medicina Crítica y Terapia Intensiva. *Med Intensiva*. 2025;49:502256, http://dx.doi.org/10.1016/j.medin.2025.502256.
6. Forrer A, Gaisl T, Sevik A, et al. Partial pressure of arterial oxygen in healthy adults at high altitudes: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Netw Open*. 2023;6:e2318036, http://dx.doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.18036.
7. Proctor JL, Medina J, Rangghran P, et al. Air-evacuation-relevant hypobaria following traumatic brain injury plus hemorrhagic shock in rats increases mortality and injury to the gut, lungs, and kidneys. *Shock*. 2021;56:793–802, http://dx.doi.org/10.1097/SHK.0000000000001761.
8. Viruez-Soto JA, Jiris-Quinteros J, Antezana-Aramayo JS, Cáceres-Flores FM, Tinoco-Solórzano A. pCO_2 en trauma craneoencefálico grave en la gran altitud. *Revista de Medicina Intensiva y Cuidados Críticos*. 2020;13:153–157.
9. Caceres E, Divani AA, Rubinos CA, et al. $PaCO_2$ association with traumatic brain injury patients outcomes at high altitude: a prospective single-center cohort study. *Res Sq [Preprint]*. 2024:rs.3.rs.3876988, http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-3876988/v1.
10. Zhou X, Nian Y, Qiao Y, Yang M, Xin Y, Li X. Hypoxia plays a key role in the pharmacokinetic changes of drugs at high altitude. *Curr Drug Metab*. 2018;19:960–969, http://dx.doi.org/10.2174/1389200219666180529112913.
11. Liu J, Peng S, Ye L, et al. Neuroinflammation aggravated by traumatic brain injury at high altitude is reversed by L-serine *via* NFAT1-mediated microglial polarization. *Front Cell Neurosci*. 2023;17:1152392, http://dx.doi.org/10.3389/fncel.2023.1152392.
12. Yang Y, Peng Y, He S, Wu J, Xie Q, Ma Y. The clinical differences of patients with traumatic brain injury in plateau and plain areas. *Front Neurol*. 2022;13:848944, http://dx.doi.org/10.3389/fneur.2022.848944.
13. Avila-Hilari A, Tinoco-Solórzano A, Vélez-Páez J, Avellanas-Chavala ML, Comité de Expertos de Medicina Crítica en la Altitud de la Federación Panamericana e Ibérica de Medicina Crítica y Terapia Intensiva (FEPIMCTI). Embarazo crítico en la altitud: una mirada en América Latina. *Med Intensiva*. 2024;48:411–420, http://dx.doi.org/10.1016/j.medin.2024.03.019.
14. Avila-Hilari A, Tinoco-Solórzano A, Vélez-Páez J, Molano Franco D, Montelongo FJ, Avellanas-Chavala ML. Síndrome de distrés respiratorio agudo en la altitud: consideraciones sobre el diagnóstico y tratamiento. *Med Intensiva*. 2024;48:546–548, http://dx.doi.org/10.1016/j.medin.2024.04.006.
15. Avila-Hilari A, Avellanas-Chavala ML. Ultrasonografía del diámetro de la vaina del nervio óptico a gran altitud (3.650-4.150 m) en nativos sanos. *Rev Esp Urg Emerg*. 2025;4:30–33.
16. Avila-Hilari A, Maldonado Coronel F, Avellanas-Chavala ML. Monitorización multimodal no invasiva de la presión intracraneal a gran altitud con el Duplex transcraneal codificado en color de la arteria cerebral media. *Emergencias*. 2025;37:309–317.
17. Gattrell WT, Logullo P, van Zuuren EJ, et al. ACCORD (ACcurate COnsensus Reporting Document): a reporting guideline for consensus methods in biomedicine developed via a modified Delphi. *PLoS Med*. 2024;21:e1004326, http://dx.doi.org/10.1371/journal.pmed.1004326.
18. Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, et al., GRADE Working Group. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ*. 2008;336:924–926, http://dx.doi.org/10.1136/bmj.39489.470347.AD.
19. Argudo E, Hernández-Tejedor A, Belda Hofheinz S, et al. Recomendaciones de consenso sobre el transporte de pacientes en ECMO de la Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias (SEMICYUC) y la Sociedad Española de Cuidados Intensivos Pediátricos (SECIP). *Med Intensiva*. 2022;46:446–454, http://dx.doi.org/10.1016/j.medin.2022.03.010.
20. Robba C, Zanier ER, Lopez Soto C, et al. Mastering the brain in critical conditions: an update. *Intensive Care Med Exp*. 2024;12:1, http://dx.doi.org/10.1186/s40635-023-00587-3.
21. Hawryluk GWJ, Aguilera S, Buki A, et al. A management algorithm for patients with intracranial pressure monitoring: the Seattle International Severe Traumatic Brain Injury Consensus Conference (SIBICC). *Intensive Care Med*. 2019;45:1783–1794, http://dx.doi.org/10.1007/s00134-019-05805-9.
22. Carney N, Totten AM, O'Reilly C, et al. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury, fourth edition. *Neurosurgery*. 2017;80:6–15, http://dx.doi.org/10.1227/NEU.0000000000001432.
23. American College of Surgeons Committee on Trauma. *Advanced Trauma Life Support (ATLS®): Student Course Manual*. Chicago, IL: American College of Surgeons; 2025.
24. Barea-Mendoza JA, Chico-Fernández M, Ballesteros MA, et al. Resuscitation and initial management after moderate-to-severe traumatic brain injury: questions for the on-call shift. *J Clin Med*. 2024;13:7325, http://dx.doi.org/10.3390/jcm13237325.
25. Slot RER, Helbok R, van der Jagt M. Update on traumatic brain injury in the ICU. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2025;38:93–99, http://dx.doi.org/10.1097/ACO.0000000000001468.
26. Avila-Hilari A, Avellanas-Chavala ML. *Medicina Crítica en la Altitud en el Paciente Crítico*. Bogotá: Editorial Distribuna; 2025.
27. Quintana-Diaz M, Godoy DA. Niveles óptimos de hemoglobina en el paciente neurocrítico: ¿hemos llegado ya? *Med Intensiva*. 2025;49:502162, http://dx.doi.org/10.1016/j.medine.2025.502162.
28. Wei L, Chen Z, Xi Q, et al. Elevated hemoglobin concentration affects acute severe head trauma after recovery from surgery of neurologic function in the tibetan plateau. *World Neurosurg*. 2016;86:181–185, http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2015.09.070.
29. Amaru R, Mamani R, Velarde J, et al. Tromboprofilaxis en pacientes con eritrocitosis a gran altitud. *Rev Hematol Mex*. 2025;1:1–8, http://dx.doi.org/10.24245/rev_hematol.v26i1.7.
30. Amaru R, Prchal J, Carrasco M, et al. History of thrombosis at high altitude associates with increased erythropoietin. *Am J Hematol*. 2025;100:2106–2109, http://dx.doi.org/10.1002/ajh.70025.
31. Chesnut RM, Temkin N, Videtta W, et al. Consensus-based management protocol (CREVICE Protocol) for the treatment of severe traumatic brain injury based on imaging and clinical examination for use when intracranial pressure monitoring is not employed. *J Neurotrauma*. 2020;37:1291–1299, http://dx.doi.org/10.1089/neu.2017.5599.
32. Rodríguez Y, Salcedo L, Villamizar A, Cuadros C, Urbina Z. Abordaje diagnóstico y terapéutico del paciente con trauma craneoencefálico severo en el Hospital Universitario Erasmo Meoz según el protocolo CREVICE: implementación código TEC. *Sinergia*. 2023;2:3–8 [consultado 8 Mar 2026]. Disponible en: https://herasmomeoz.gov.co/wp-content/uploads/2024/01/REVISTA-2da-edicion.pdf.
33. Punjasawadwong Y, Phongchiewboon A, Bunchungmongkol N. Bispectral index for improving anaesthetic delivery and postoperative recovery. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014;2014:CD003843, http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD003843.pub3.
34. Martínez-Palacios K, Vásquez-García S, Fariyike OA, Robba C, Rubiano AM, noninvasive ICP monitoring international consensus group. Using optic nerve sheath diameter for intracranial pressure (ICP) monitoring in traumatic brain injury: a scoping review. *Neurocrit Care*. 2024;40:1193–1212, http://dx.doi.org/10.1007/s12028-023-01884-1.
35. Xu J, Song Y, Shah Nayaz BM, et al. Optic nerve sheath diameter sonography for the diagnosis of intracranial hypertension in traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg*. 2024;182:136–143, http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2023.11.016.
36. Strapazzon G, Brugger H, dal Cappello T, Procter E, Hofer G, Lochner P. Factors associated with optic nerve sheath diameter during exposure to hypobaric hypoxia. *Neurology*. 2014;82:1914–1918, http://dx.doi.org/10.1212/WNL.0000000000000457.
37. Teasdale G, Murray G, Parker L, Jennett B. Adding up the Glasgow Coma Score. *Acta Neurochir Suppl (Wien)*. 1979;28:13–16, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-7091-4088-8_2.
38. Diz JC, Luna-Rojas P, Díaz-Vidal P, Fernández-Vázquez U, Gil-Casado C, Diz-Ferreira E. Effect of treatment with balanced crystalloids versus normal saline on the mortality of critically ill patients with and without traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis. *Anesth Analg*. 2025;141:152–161, http://dx.doi.org/10.1213/ANE.0000000000007368.

39. Kramer AH, Roberts DJ, Zygun DA. Optimal glycemic control in neurocritical care patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2012;16:R203, http://dx.doi.org/10.1186/cc11812.
40. Treml B, Wallner B, Blank C, Fries D, Schobersberger W. The influence of environmental hypoxia on hemostasis–A systematic review. *Front Cardiovasc Med*. 2022;9:813550, http://dx.doi.org/10.3389/fcvm.2022.813550.
41. Tinoco-Solórzano A, Nieto Estrada V, Vélez-Páez J, et al. Medicina intensiva en la altitud. Revisión de alcance. *Rev Med Intensiva Cuid Crit*. 2021;13:218–225.
42. Sumann G, Moens D, Brink B, et al. Multiple trauma management in mountain environments - a scoping review: evidence based guidelines of the International Commission for Mountain Emergency Medicine (ICAR MedCom). Intended for physicians and other advanced life support personnel. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2020;28:117, http://dx.doi.org/10.1186/s13049-020-00790-1.
43. Price AD, Baucom MR, Becker ER, et al. Systemic inflammatory effect of hypobaria during aeromedical evacuation after porcine traumatic brain injury. *J Am Coll Surg*. 2024;239:430–442, http://dx.doi.org/10.1097/XCS.0000000000001119.
44. Proctor JL, Xu S, Guo S, et al. Aeromedical evacuation-relevant hypobaria following traumatic brain injury in rats contributes to cerebral blood flow depression, altered neurochemistry and increased neuroinflammation. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2025;45:945–959, http://dx.doi.org/10.1177/0271678X241299985.
45. Heltemes KJ, Dougherty AL, MacGregor AJ, Galarneau MR. Inpatient hospitalizations of U.S. military personnel medically evacuated from Iraq and Afghanistan with combat-related traumatic brain injury. *Mil Med*. 2011;176:132–135, http://dx.doi.org/10.7205/MILMED-D-09-00238.
46. Zhang W, Yang Y, Guo J, Hu F, Ma Y, Ouyang Q. Phenothiazine confers neuroprotection via Dpp2/7 in high altitude traumatic brain injury mouse model. *High Alt Med Biol*. 2025;26:256–264, http://dx.doi.org/10.1089/ham.2024.0096.
47. Zhao A, Li W, Wang R. The influences and mechanisms of high-altitude hypoxia exposure on drug metabolism. *Curr Drug Metab*. 2023;24:152–161, http://dx.doi.org/10.2174/1389200224666221228115526.
48. Li L, Wang X, Wang S, Wen L, Zhang H. Altitude effect on propofol pharmacokinetics in rats. *Curr Drug Metab*. 2024;25:81–90, http://dx.doi.org/10.2174/0113892002285571240220131547.
49. Bishop RA, Litch JA, Stanton JM. Ketamine anesthesia at high altitude. *High Alt Med Biol*. 2000;1:111–114, http://dx.doi.org/10.1089/15270290050074251.
50. Grocott MP, Johannson L. Ketamine for emergency anaesthesia at very high altitude (4243 m above sea-level). *Anaesthesia*. 2007;62:959–962, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2044.2007.05074.x.
51. Bhattarai R, Hamal PK. Comparison of fentanyl-propofol and ketamine-propofol combination in induction and maintenance with intravenous anesthesia for short surgical procedures at moderate elevations. *J Nepal Health Res Counc*. 2021;18:769–775, http://dx.doi.org/10.33314/jnhrc.v18i4.3323.
52. Maldonado Muñoz MB. *Perfil de hemoglobina y hematocrito en trabajadores del parque industrial de Cuenca*. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay de Cuenca; 2013 [consultado 8 Mar 2026]. Disponible en: https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3302/1/10076.pdf.
53. Palma-Lozano D, Huapalla Cespedes B, Nalvarte Leiva A, Alvarado Rueda S. Hábitos alimenticios y nivel de hemoglobina en estudiantes. *Rev Peru Cienc Salud*. 2019;1:185–190, http://dx.doi.org/10.37711/rpcs.2019.1.4.29.
54. Sampértegui Vega JC. Corpúsculos F sanguíneos. En: Sampértegui Vega JC, Zea Cabrera ME, Sampértegui Alvarado PE, Ochoa Zamora SP, eds. *Correlación entre la medicina de laboratorio y las ciencias básicas y clínicas*. Cuenca, Ecuador: Universidad Católica de Cuenca; 2018:p57–p66.
55. Sáenz Flor K, Narváez L, Cruz M. Valores de referencia hematológicos en población altoandina ecuatoriana, empleando analizador SYSMEX XE-2100®. *Rev Mex Patol Clin*. 2008;55:207–215 [consultado 8 Mar 2026]. Disponible en: https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/CIENCIAS_MEDICAS/article/view/1051/1054.
56. Coy Velandia LS, Castillo Bohórquez M, Mora AI, Munevar Á, Peña YY. Características hematológicas de donantes de sangre de Bogotá, D.C., Colombia (2.600 m). *Revista Med*. 2007;15:40–47 [consultado 8 Mar 2026]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2293248.
57. Amaru R, Miguez H, Peñaloza R, et al. Eritrocitosis patológica de altura: caracterización biológica, diagnóstico y tratamiento. *Rev Med La Paz [Internet]*. 2013;19:5–18 [consultado 8 Mar 2026]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-89582013000200002&lng=es.
58. Amaru R. *Eritrocitosis patológica de altura*. 2.ª ed La Paz, Bolivia: Unidad de Biología Celular, Facultad de Medicina, UMSA; 2021.
59. Mendoza Copa G. Cambios hematológicos en la altitud. En: Avila-Hilari A, Avellanas-Chavala MD, eds. *Medicina Crítica en la Altitud en el Paciente Crítico*. Bogotá: Editorial Distribuna; 2025:221–237.
60. Gonzales GF, Tapia V. Hemoglobina, hematocrito y adaptación a la altura: su relación con los cambios hormonales y el periodo de residencia multigeneracional. *Revista Med*. 2007;15:80–93 [consultado 8 Mar 2026]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2293313.
61. Iyer VN, Mandrekar JN, Danielson RD, Zubkov AY, Elmer JL, Wijdicks EF. Validity of the FOUR score coma scale in the medical intensive care unit. *Mayo Clin Proc*. 2009;84:694–701, http://dx.doi.org/10.4065/84.8.694.
62. Ahmadi S, Sarveazad A, Babahajian A, Ahmadzadeh K, Yousefifard M. Comparison of Glasgow Coma Scale and Full Outline of UnResponsiveness score for prediction of in-hospital mortality in traumatic brain injury patients: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2023;49:1693–1706, http://dx.doi.org/10.1007/s00068-022-02111-w.
63. Liu S, Zhou S. Lactate: a new target for brain disorders. *Neuroscience*. 2024;552:100–111, http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroscience.2024.06.023.
64. Vespa P, Wolahan S, Buitrago-Blanco M, et al. Exogenous lactate infusion (ELI) in traumatic brain injury: higher dose is better? *Crit Care*. 2025;29:153, http://dx.doi.org/10.1186/s13054-025-05374-y.
65. Brown CVR, Inaba K, Shatz DV, et al. Western Trauma Association critical decisions in trauma: airway management in adult trauma patients. *Trauma Surg Acute Care Open*. 2020;5:e000539, http://dx.doi.org/10.1136/tsaco-2020-000539.
66. Merola R, Mancino D, Vargas M. Videolaryngoscopy versus direct laryngoscopy: a bibliometric analysis. *Br J Anaesth*. 2024;132:166–168, http://dx.doi.org/10.1016/j.bja.2023.09.029.
67. Merola R, Troise S, Palumbo D, D'Auria D, Dell'Aversana Orabona G, Vargas M. Airway management in patients undergoing maxillofacial surgery: state of art review. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. 2025;126:102044, http://dx.doi.org/10.1016/j.jormas.2024.102044.
68. Ahmad I, El-Boghdadly K, Iliff H, et al. Difficult Airway Society 2025 guidelines for management of unanticipated difficult tracheal intubation in adults. *Br J Anaesth*. 2026;136:283–307, http://dx.doi.org/10.1016/j.bja.2025.10.006.
69. Blandino Ortiz A, Higuera Lucas J. Utilidad de la pupilometría cuantitativa en la unidad de cuidados intensivos. *Med Intensiva*. 2022;46:239–296, http://dx.doi.org/10.1016/j.medin.2021.12.003.
70. Oddo M, Taccone FS, Petrosino M, et al., ORANGE study investigators. The Neurological Pupil index for outcome prognostication in people with acute brain injury (ORANGE): a prospective, observational, multicentre cohort study. *Lancet Neurol*. 2023;22:925–933, http://dx.doi.org/10.1016/S1474-4422(23)00271-5.
71. Petrosino M, Gouvêa Bogossian E, Rebora P, et al., ORANGE Participants and Investigators. Neurological Pupil Index and intracranial hypertension in patients with acute brain injury: a secondary analysis of the ORANGE study. *JAMA Neurol*. 2025;82:176–184, http://dx.doi.org/10.1001/jamaneurol.2024.4189.
72. Robba C, Picetti E, Vásquez-García S, et al. The Brussels consensus for non-invasive ICP monitoring when invasive systems are not available in the care of TBI patients (the B-ICONIC consensus, recommendations, and management algorithm). *Intensive Care Med*. 2025;51:4–20, http://dx.doi.org/10.1007/s00134-024-07756-2.
73. Burnol L, Payen JF, Francony G, et al. Impact of head-of-bed posture on brain oxygenation in patients with acute brain injury: a prospective cohort study. *Neurocrit Care*. 2021;35:662–668, http://dx.doi.org/10.1007/s12028-021-01240-1.
74. Ramos MB, Britz JPE, Telles JPM, et al. The effects of head elevation on intracranial pressure, cerebral perfusion pressure, and cerebral oxygenation among patients with acute brain injury: a systematic review and meta-analysis. *Neurocrit Care*. 2024;41:950–962, http://dx.doi.org/10.1007/s12028-024-02020-3.
75. Brasil S, Karanjia N, Taccone FS. The dawn of noninvasive intracranial compliance waveforms: a call for the B-ICONIC improvement and expansion. *Intensive Care Med*. 2025;51:1131–1134, http://dx.doi.org/10.1007/s00134-025-07956-4.
76. Godoy DA, Pérez-Bárcena J, Delgado-Moya FP, Barea-Mendoza JA, Llompart-Pou JA. Noninvasive bedside neuromonitoring in acute brain injury. A narrative review. *Med Intensiva (Engl Ed)*. 2025;49:502305, http://dx.doi.org/10.1016/j.medine.2025.502305.
77. Chesnut RM, Temkin N, Carney N, et al., Global Neurotrauma Research Group. A trial of intracranial-pressure monitoring in traumatic brain injury. *N Engl J Med*. 2012;367:2471–2481, http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa1207363. Erratum in: N Engl J Med. 2013;369:2465.
78. Murillo-Cabezas F, Godoy DA. Monitorización de la presión intracraneal en el traumatismo craneoencefálico grave: otra visión del Best Trip trial. *Med Intensiva*. 2014;38:237–239, http://dx.doi.org/10.1016/j.medin.2013.07.011.